

Aus der Veterinär-Chirurgischen Klinik der Universität Zürich
(Direktor: Prof. Dr. A. Müller)
Arbeit unter der Leitung von Dr. Ch. Fricker, Oberassistent

Vergleichende Kraft- und Belastungszeit-Messungen an den Vorderhufen von gesunden und an Podotrochlose erkrankten Pferden

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Veterinär-Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von
Jürg Hugelshofer
Tierarzt
von Frauenfeld TG

Genehmigt auf Antrag von
Prof. Dr. A. Müller, Referent
PD Dr. H. Geyer, Korreferent

Zürich 1982

Rieker & Ammann Offsetdruck AG Glattbrugg



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41507225_0036

Aus der Veterinär-Chirurgischen Klinik der Universität Zürich
(Direktor: Prof. Dr. A. Müller)
Arbeit unter der Leitung von Dr. Ch. Fricker, Oberassistent

Vergleichende Kraft- und Belastungszeit-Messungen an den Vorderhufen von gesunden und an Podotrochlose erkrankten Pferden

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Veterinär-Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von
Jürg Hugelshofer
Tierarzt
von Frauenfeld TG

Genehmigt auf Antrag von
Prof. Dr. A. Müller, Referent
PD Dr. H. Geyer, Korreferent

Zürich 1982

Rieker & Ammann Offsetdruck AG Glattbrugg



Für Katrin, Sarah und Matthias

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG
2. LITERATURUEBERSICHT
 - 2.1. Definition von "Schritt" und "Trab"
 - 2.2. Das Fussen des gesunden Pferdes
 - 2.3. Das Fussen des an Podotrochlose erkrankten Pferdes
 - 2.4. Bisher bekannte Messmethoden
3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN
 - 3.1. Messmethode
 - 3.2. Beschreibung der untersuchten Pferde
 - 3.3. Die klinische Untersuchung der Pferde vor der Messung
 - 3.4. Das Vorführen der Pferde für die Aufzeichnung der Messungen
 - 3.5. Nullabgleich und Eichung der Messgeräte
 - 3.6. Die Auswertung der Messungen unter Berücksichtigung möglicher Messfehler
 - 3.7. Resultate
 - 3.7.1. Ergebnisse im "Schritt"
 - 3.7.1.1. Die Ungulogramme der gesunden Pferde
 - 3.7.1.2. Die Ungulogramme der an Podotrochlose erkrankten Pferde
 - 3.7.1.3. Resultate der Kraft- und Belastungszeit-Messungen
 - 3.7.2. Ergebnisse im "Trab"
 - 3.7.2.1. Die Ungulogramme der gesunden Pferde
 - 3.7.2.2. Die Ungulogramme der an Podotrochlose erkrankten Pferde
 - 3.7.2.3. Resultate der Kraft- und Belastungszeit-Messungen
 - 3.7.3. Statistische Auswertung der Resultate in Schritt und Trab
4. DISKUSSION
5. ZUSAMMENFASSUNG
6. LITERATURVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG

Die Bewegung des gesunden Pferdes zu analysieren und objektiv festzuhalten, wurde bereits verschiedentlich versucht (2, 3, 4, 5, 13, 14, 15, 19, 26, 28, 30, 31, 33, 36, 37).

Das Erkennen von Ganganomalien bildet die Grundlage der Lahmheitsdiagnostik beim Pferd. Dabei ist die Beobachtungsgabe des untersuchenden Tierarztes, neben dem Fachwissen und der Erfahrung, von besonderer Bedeutung, muss er doch die Lahmheit erkennen, das die Lahmheit verursachende Bein bestimmen, und den Lahmheitsgrad quantitativ erfassen.

Eine objektive Beurteilung von Ganganomalien kann nur mit Hilfe einer Kraft- und Belastungszeit-Messung an den Hufen während der einzelnen Bewegungsphasen erfolgen. Das Ziel dieser Untersuchung ist die Erarbeitung einer geeigneten Messmethode und deren praktische Erprobung beim Vergleich des Bewegungsablaufes der Vorderbeine von klinisch gesunden und von strahlbeinlahmen Pferden.

Von besonderem Interesse sind die folgenden Messgrößen:

1. Die auf den Huf einwirkenden Vertikalkräfte während der Bewegung in "Schritt" und "Trab".
2. Der zeitliche Ablauf der einwirkenden Vertikalkräfte in "Schritt" und "Trab".

Mit Hilfe dieser Messgrößen sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Bestehen individuelle Unterschiede bezüglich der Belastung der Vorderbeine bei den einzelnen gesunden Pferden?
2. Wie unterscheidet sich die Belastung des strahlbeinlahmen Pferdes gegenüber der Belastung des klinisch gesunden Pferdes?
3. Ermöglicht die kombinierte Kraft- und Belastungszeit-Messung eine exakte Trennung der gesunden von den kranken Pferden?

2. LITERATURUEBERSICHT

2.1. Definition von "Schritt" und "Trab"

Schritt: Der Schritt ist die langsamste Art der Vorwärtsbewegung (29). Seiferle unterscheidet drei Arten von Schritt: Den flotten, gewöhnlichen und verkürzten Schritt.

- Im flotten Schritt wird der Schwerpunkt von wechselnden sagittalen und diagonalen Zweibeinstützen unterstellt.
- Im gewöhnlichen Schritt wird zwischen den sagittalen und diagonalen Zweibeinstützen je eine Dreibeinstütze eingeschoben. Damit wird eine günstigere Unterstützung des Schwerpunktes erreicht.
- Der verkürzte Schritt setzt sich nur aus Dreibeinstützen zusammen, weil infolge der Verkürzung der Schwingphase die sagittalen und diagonalen Zweibeinstützen wegfallen. Mit steigender Geschwindigkeit nehmen die Dreibeinstützen ab und die sagittalen und diagonalen Zweibeinstützen zu (2).

Trab: Beim Trab arbeiten die diagonalen Gliedmassenpaare so genau zusammen, dass sie sich während der ganzen Bewegungsfolge annähernd in der gleichen Phase befinden (2, 28, 29). Der Schwerpunkt wird dabei ausschliesslich von diagonalen Zweibeinstützen unterstellt.

Für die Lahmheitsdiagnostik ist der Trab die optimale Bewegungsform, da sich gleichzeitig nur zwei Gliedmassen in der Stützphase befinden (1).

2.2. Das Fussen des gesunden Pferdes

Kräftige, elastische Trachten und eine kurze Zehe, wie sie heute leider nur noch bei Wildpferden zu sehen sind (12), erlauben ein natürliches Fussen; das Pferd setzt auf den Trachten auf und rollt über die Zehe ab. Die Beobachtungen von ver-

schiedenen Autoren (1, 12, 14, 15, 34) bestätigen diesen Fussungsablauf auch beim korrekt beschlagenen Pferd. Die Gliedmasse wird in einem Bogen vorgeführt, was zu einem raumgreifenden Schritt führt (1, 12).

2.3. Das Fussen des an Podotrochlose erkrankten Pferdes

Nach Emery (10) muss die Bewegungsstörung oder die Lahmheit entsprechend dem Krankheitsstadium gesehen werden. In einem ersten Stadium kann noch nicht von einer eigentlichen Lahmheit gesprochen werden. Die Pferde gehen intermittierend unregelmässig, steif und verkürzen die Schritte, erholen sich aber wieder.

Mit dem Fortschreiten der Erkrankung und der damit verbundenen Zunahme der Schmerzen entlasten die Pferde in Ruhe und in Bewegung die Trachten und weichen dadurch dem Druck auf das Strahlbein aus (1, 6, 8, 12). Die Pferde versuchen auf der Zehe zu fussen um den Aufschlag der Trachten auf den Boden zu vermindern. Die Schritte werden dadurch verkürzt. Die Tendenz auf der Zehe zu fussen, führt oft zum Stolpern (1, 8, 20, 21, 38). Die andauernde Entlastung der Trachten führt zum Trachtenzwanghuf, der wiederum eine Verstärkung der Lahmheit zur Folge hat (1, 22, 38). Eine relativ zu lange Zehe führt beim Abrollen zu einem verstärkten Druck der tiefen Beugesehne auf das Strahlbein (7), was vermehrte Schmerzen verursacht. Das Pferd reagiert auf die zusätzlichen Schmerzen mit einem frühzeitigen Abheben der Gliedmasse. Um das Abrollen über die Zehenspitze zu erleichtern, lockert das Pferd gleichzeitig das Carpalgelenk und sinkt so ein wenig über das kranke Bein ab (8, 12, 27).

2.4. Bisher bekannte Messmethoden

Marey (26) beschrieb bereits im Jahre 1873 eine Kraftmessmethode, welche er zur Ganganalyse beim Reitpferd benützte. Er bediente sich kleiner Gummiballone, die er zwischen die Schenkel des Hufeisens montierte. Beim Fussen des Pferdes wurden die Bal-

lone zusammengedrückt und die so komprimierte Luft über eine Schlauchverbindung einem Schreibgerät zugeführt.

Mit dieser einfachen Methode analysierte Marey die Bewegung des Pferdes unter dem Reiter in Schritt, Trab und Galopp. Ueber Belastungskräfte und genaue Zeitabläufe konnte er keine Aussagen machen. Die ersten elektrophotographischen Bewegungsaufzeichnungen wurden 1879 von Muybridge (28) bei verschiedenen Tieren durchgeführt.

Die Entwicklung der Dehnungsmessstreifen (DMS) ermöglicht die Belastung am Pferdehuf direkt zu messen. Dabei bewirken mechanische Kräfte eine Veränderung des elektrischen Widerstandes. Diese neuartige Messtechnik wurde zuerst von Björk (5) angewandt. Die von ihm entwickelten Kraftmessschuhe konnten auf speziell vorbereitete Hufeisen aufgeschraubt werden. In seiner Arbeit wurden die Vertikal- und Horizontalkräfte, die zwischen den Hufen der Vorder- und Hintergliedmassen und dem Boden auftraten, bei Zugpferden gemessen. Mit der Einführung der piezoelektrischen Zellen zur Kraftmessung wurden verschiedene stationäre Kraftmessplatten für die Humanmedizin entwickelt. Diese Messplatten wurden in der Folge von verschiedenen Untersuchern zur Huf-Kraftmessung beim Pferd verwendet (11, 23, 26). Frederick (13) entwickelte 1976 eine aus piezoelektrischen Elementen bestehende portable Messeinrichtung, die am Hufe des Pferdes befestigt werden konnte. Diese Messeinrichtung wurde allerdings nur an einem Pferd auf Tauglichkeit geprüft, fand aber anschliessend nirgends Verwendung (18).

Dehnungsmessstreifen, die direkt auf die Hufwände geklebt wurden, fanden in den Bewegungsanalysen von Bayer (4) bei Trabrennpferden und bei der Erforschung des Trachtenzwanghufes Verwendung (22).

Ortsfeste Messplatten mit Dehnungsmessstreifen zur Messung der Vertikalbelastungen beim Pferd wurden erstmals von Pratt (30, 31) beschrieben, der auch einen Fall von Podotrochlose untersucht

hat. Reihenuntersuchungen wurden keine durchgeführt.

Fredricson (14, 15) arbeitet mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitsfilmaufnahmen, die mittels Computer ausgewertet werden, an der genauen Bewegungsanalyse von Trabrennpferden. Die Aenderung der Gelenkwinkel soll über die exakte Bewegung der Gliedmassen Auskunft geben. Auch diese neusten Arbeiten geben nur Bewegungsbeschreibungen von gesunden Pferden.

Beschleunigungsmessgeräte, sog. Accelerometer, die am Huf oder am Metacarpus (14, 24) des Pferdes angebracht wurden, registrierten nur die dynamischen Kräfte (Beschleunigung und Verzögerung) aber nicht die statischen Belastungsverhältnisse.

3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1. Messmethode

Die Kräfte, die zwischen den Vorderhufen und dem Boden beim Fussen auftreten, werden mit Hilfe einer Messplatte, die auf dem Hufeisen montiert wird, erfasst. Die Messplatte besteht aus einer tragenden Grundplatte (Abb. 1) und aus einem Aufsatz mit vier sternförmig angeordneten Messarmen (Abb. 2). Die Grundplatte wird mit Hilfe einer Spannvorrichtung am Hufeisen befestigt. Die Spannvorrichtung besteht aus drei keilförmigen Plättchen, welche durch eine Zug/Druckschraube zwischen das Hufeisen und den Tragrand des Hufes eingetrieben werden (Abb. 4a und 4b).

Jedes der drei Plättchen hat eine Gewindebohrung, an der die Grundplatte mit drei Schrauben befestigt werden kann. Um eine spannungsfreie Auflage der Grundplatte auf dem Hufeisen zu gewährleisten, werden die Hufnagelköpfe zurückgeschliffen. Die Grundplatte und der sternförmige Aufsatz sind aus hochwertigem Federstahl gefertigt. Auf jedem der vier Messarme ist ein Dehnungsmessstreifen aufgeklebt. Die Dehnungsmessstreifen und die

zuführenden Kabel werden durch ein kunststoffbeschichtetes Chromstahlplättchen geschützt (Abb. 3).

Die durch die Einwirkung der mechanischen Kräfte verursachte Dehnung der Dehnungsmessstreifen wird in eine elektrische Widerstandsänderung umgewandelt. Diese Widerstandsänderungen werden durch einen Brückenverstärker* (mit automatischem Nullabgleich) in Spannungsänderungen umgewandelt und einem Telemetriesender** zugeführt. Der Brückenverstärker und der Telemetriesender sind auf einem Spezialsattel auf dem Rücken des Pferdes befestigt (Abb. 5).

Die vom Telemetriesender abgegebenen Signale werden von einem Vierkanaltelemetrieempfänger*** aufgenommen und einem Mehrkanaltintenschreiber**** zugeführt.

Die Schaltung der ganzen Messeinrichtung ist im Blockschema in Abb. 6 graphisch dargestellt.

Die Kräfte an der Zehenspitze und an den Trachten werden durch Summation der Kräfte an den beiden vorderen, bzw. an den beiden hinteren Messarmen ermittelt.

- * Brückenverstärker, achtkanalig, Hogg Zürich
- ** Hellige TS 15.02, Freiburg i.Br., BRD
- *** Hellige Demodulator, Cat. No.: 12 033 496
- **** Beckman, Dynograph Recorder, Type R 411

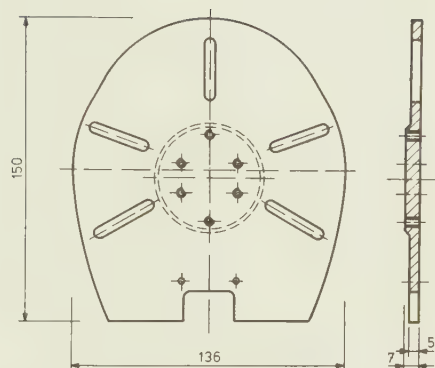
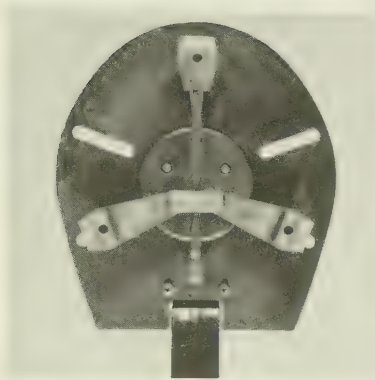


Abb. 1: Huf-Seite der Grundplatte mit Spannvorrichtung

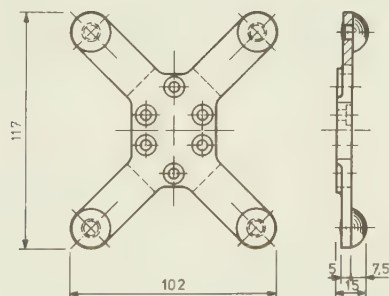
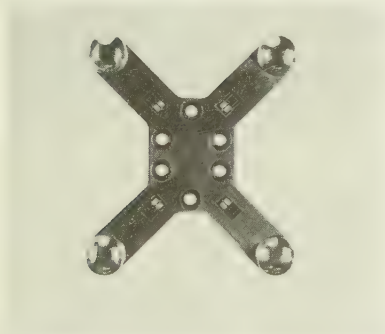


Abb. 2: Aufsatz mit vier sternförmig angeordneten Messarmen

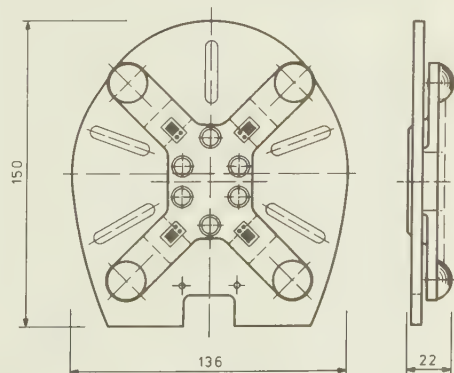
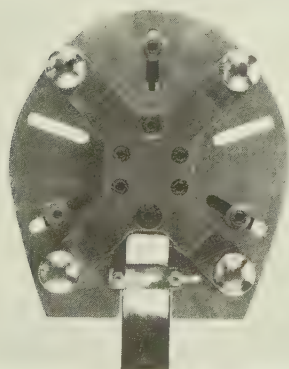


Abb. 3: Bodenseite der Grundplatte mit Aufsatz

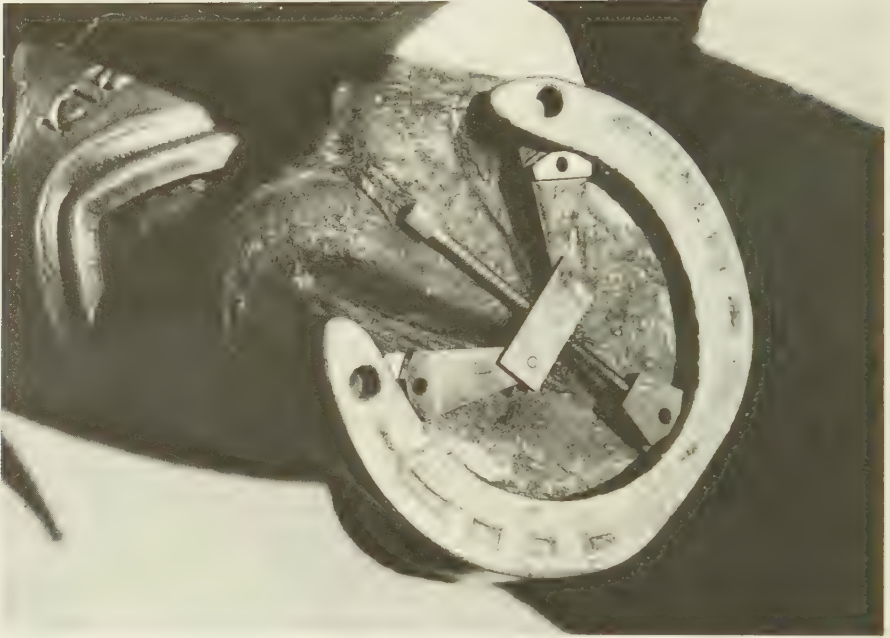


Abb. 4 a: Spannvorrichtung am Hufeisen montiert

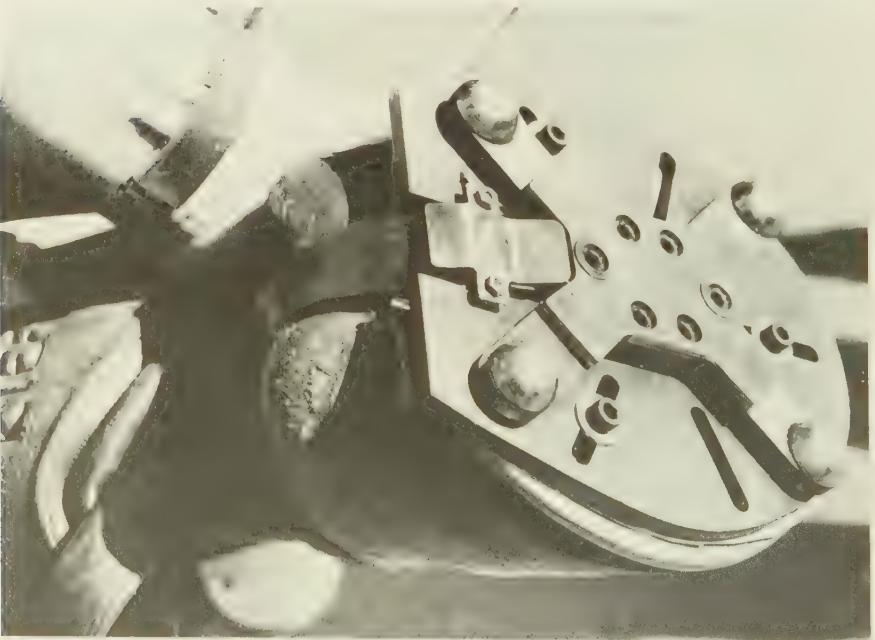


Abb. 4 b: Komplette Messplatte auf Huf fixiert

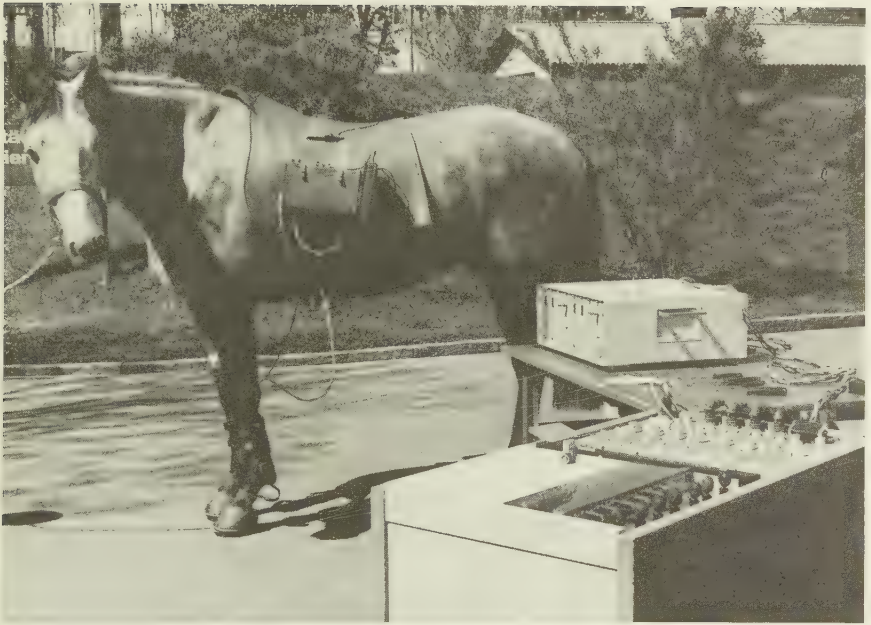


Abb. 5: Komplette Versuchsanordnung

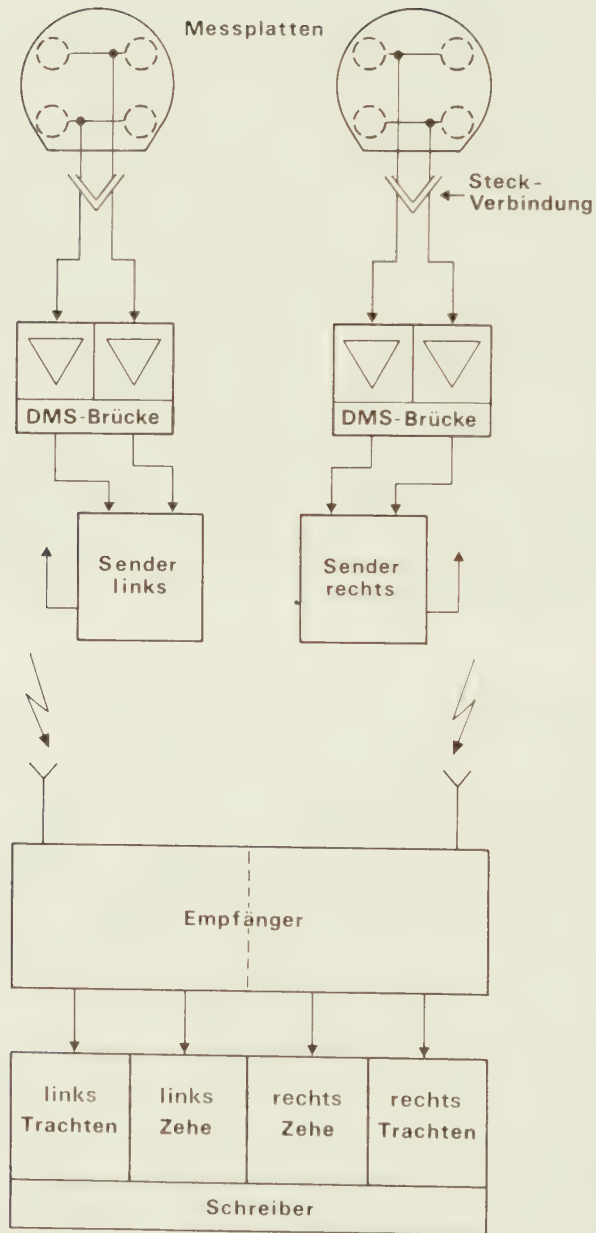


Abb. 6: Blockscheema der Messeinrichtung

Um die Dehnungsmessstreifen auf Linearität und Sitz zu prüfen, wurden in regelmässigen Abständen Spannungs-Kraft-Kennlinien aufgezeichnet. Dabei wurden die vier Messarme gleichzeitig mit einer hydraulischen Brinellpresse* einer definierten Kraft ausgesetzt und die Messwerte einem Schreibgerät** zugeführt (Abb. 7).

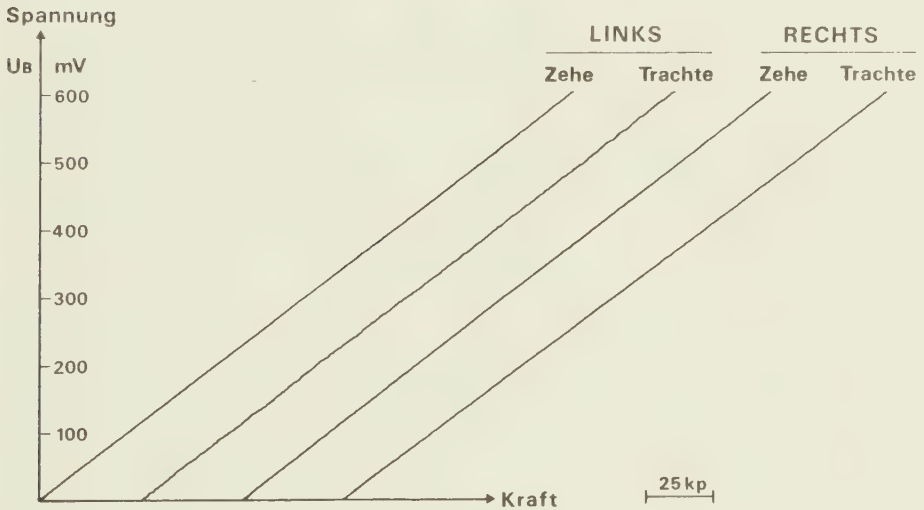


Abb. 7: Kennlinien der Dehnungsmessstreifen einer Messplatte

* Brinell-Press, Amsler CO Schaffhausen

** Servogor XY 733 BBC Baden

3.2. Beschreibung der untersuchten Pferde

Für die Untersuchung der gesunden Pferde dienten fünf Stuten und fünf Wallache im Alter von 3½ bis 12 Jahren (Tab. 1).

Nr.	Geschlecht	Farbe	Alter	Rasse	Körpergewicht
1	Wallach	Rappe	4½	Holland	525 kg
2	Stute	Rappe	6	Oldenburg	618 kg
3	Stute	Rappe	3½	Trakehner	512 kg
4	Stute	Fuchs	5	Inland	503 kg
5	Stute	braun	4	Freiberger	521 kg
6	Wallach	d'braun	5	Trakehner	637 kg
7	Wallach	Schimmel	4	Irland	562 kg
8	Stute	Schimmel	5	Irland	522 kg
9	Wallach	Fuchs	7	Irland	585 kg
10	Wallach	d'braun	12	Irland	570 kg

Tab. 1: Gesunde Pferde

Die kranken Pferde stammten aus dem Patientengut der Veterinär-Chirurgischen Klinik und wurden nach einheitlichen Kriterien untersucht. Bei diesen Patienten wurden Podotrochlose verschiedener Schweregrade diagnostiziert (Tab. 2).

Nr.	Geschlecht	Farbe	Alter	Rasse	KGW kg	Grad der Lahmheit
11	Stute	braun	6½	Inland	600	vo re leichtgradig
12	Wallach	Fuchs	12	franz.Traber	600	vo re leichtgradig
13	Wallach	Fuchs	8	Franzose	620	vo re mittelgradig
14	Wallach	d'braun	9	Russe	548	vo re mittelgradig
15	Stute	Tigersch.	11	Appaloosa	466	vo li mittelgradig
16	Stute	Schimmel	9	Ungararaber	464	vo li mittelgradig
17	Wallach	Rappe	10	Irland	570	vo beide mittelgrad.
18	Wallach	So'Rappe	9	Irland	520	vo re leichtgradig
19	Stute	braun	8	Irland	520	vo beide leichtgrad.
20	Wallach	braun	8	Irland	534	vo li leichtgradig

Tab. 2: An Podotrochlose erkrankte Pferde

3.3. Die klinische Untersuchung der Pferde vor der Messung

Die Diagnose Podotrochlose wurde auf Grund folgender Befunde gestellt:

- Chronische Lahmheit, Wendeschmerz, "Vorstellen" der kranken Gliedmasse.
- Lahmheit, die sich bei harter und weicher Unterlage gleich verhielt.
- Pos. Brettprobe (Hyperextension der Zehengelenke).
- Mit Hilfe der tiefen Volarnervenanaesthesie verschwand die Lahmheit, bzw. das Pferd zeigte danach eine Lahmheit auf dem anderen Vorderbein.
- Im Röntgenbild des Strahlbeins konnten typische Veränderungen in Form von Zonen erhöhter Strahlendurchlässigkeit gesehen werden.
- Keine anderen krankhaften Befunde konnten erhoben werden.

3.4. Das Vorführen der Pferde für die Aufzeichnung der Messungen

Die Pferde wurden an der Hand in den Gangarten Schritt und Trab auf einer geraden, horizontalen Asphaltstrasse geführt. Es wurden von jedem Pferd je zwei Sequenzen im Schritt und im Trab gemessen. Aufgezeichnet wurde jede Gangart bei einer möglichst konstanten Geschwindigkeit, damit die Messresultate nicht durch den Einfluss von Beschleunigung, bzw. Verzögerung, verändert wurden.

3.5. Nullabgleich und Eichung der Messgeräte

Die Messgeräte wurden jeweils vor jedem Versuch und nach jeder Verstellung des Brückenverstärkers abgeglichen.

Der Nullabgleich der DMS-Messbrücken erfolgte bei aufgehobenem Fuss des Pferdes. Anschliessend wurden auf allen vier Kanälen des Schreibers die Nulllinien aufgezeichnet.

3.6. Die Auswertung der Messungen unter Berücksichtigung möglicher Messfehler

Je zehn Schrittfolgen in den Gangarten "Schritt" und "Trab" wurden bei verschiedenen Papiervorschubgeschwindigkeiten (25 mm/s, 100 mm/s) des Schreibgerätes und bei verschiedenen Einstellungen des Brückenverstärkers aufgezeichnet.

Aus den Kraft- und Belastungszeit-Kurven (Ungulogramme) wurden die folgenden Messgrößen bestimmt (Abb. 8):

- Kraft:
- Zehenbelastung während der mittleren Stützphase.
 - Trachtenbelastung während der mittleren Stützphase.
 - Maximalbelastung des ganzen Hufes während der Abstossphase.
- Zeit:
- Dauer der Fussungsphase für Zehe und Trachten.
 - Dauer der Schwingphase für Zehe und Trachten.
 - Fussungsreihenfolge (Trachten-Zehe, Zehe-Trachten).

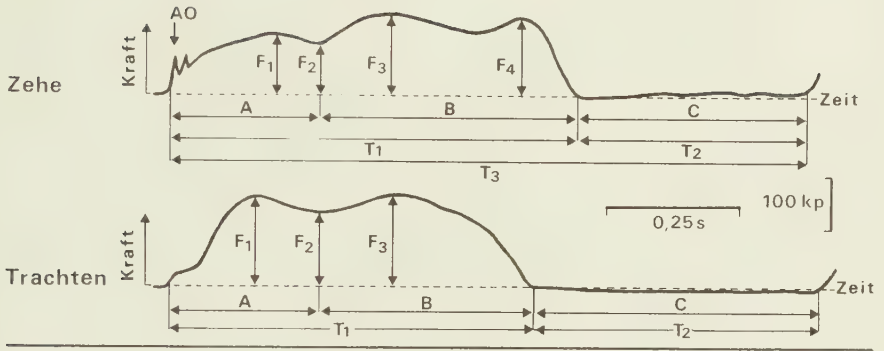
Mit diesen Messgrößen konnten die folgenden Werte berechnet werden:

- Kraft:
- Relation der Belastungskräfte zum Körpergewicht (%).
- Zeit:
- Verhältnis Fussungszeit zu Schwingzeit der Zehe.
 - Verhältnis Fussungszeit zu Schwingzeit der Trachten.
 - Schrittdauer als Summe von der Fussungszeit und der Schwingzeit der Zehe.

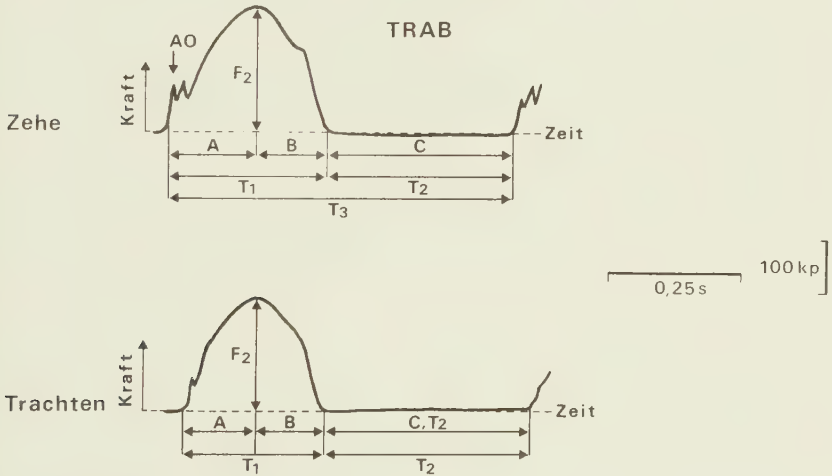
Mögliche Messfehler können in Form von apparativen Ungenauigkeiten, von ungleichen Messbedingungen, wie auch von Ablesefehlern auftreten.

Die Dehnungsmessstreifen und die Brückenverstärker weisen zusammen einen Fehler von ± 3 % auf.

SCHRITT



TRAB



- A Bremsphase
- B Abstossphase
- C Schwingphase
- F_1 Max. Vertikalbelastung in der Bremsphase
- F_2 Vertikalbelastung bei Schub gleich Null (mittl. Stützphase)
- F_3 Max. Vertikalbelastung in der Abstossphase
- F_4 3. Belastungsmaximum bei Abheben der Trachten
- T_1 Fussungszeit
- T_2 Schwingzeit
- T_3 Schrittzeit
- AO Aufschlagsoszillation

Abb. 8: Schematische Zehen- und Trachtenungulogramme für Schritt und Trab

Die Telemetrieanlage und der Mehrkanalschreiber arbeiten mit einer Genauigkeit von $\pm 1 \%$.

Die Vorführgeschwindigkeit der Pferde konnte während den Messungen, wie aus den Schrittzeitberechnungen hervorgeht, konstant gehalten werden. Das Tragen des Sattels mit den Instrumenten, wie auch die Kabelverbindungen entlang den Gliedmassen, wurden nach einer kurzen Gewöhnungszeit von den Pferden nicht mehr als störend empfunden. Unmittelbar nach der Montage der Messplatten zeigten verschiedene Pferde kurzfristig einen leicht verkürzten Gang. Die durch die Messplatten bedingte Erhöhung der Hufe um 20 mm vom Boden, soll nach den Untersuchungen von Bötschi (7) keinen Einfluss auf die Belastung der Hufe und den Bewegungsablauf ausüben.

Die geringen Unterschiede zwischen den Einzelschritten zeigen, dass die Messungen praktisch unter gleichen Bedingungen stattfanden.

Die grösste Fehlerquelle besteht beim Ablesen der Kurven: Der Messfehler beträgt für die Kraftwerte maximal $\pm 3 \%$ und für die Zeitmessung $\pm 2 \%$.

Der maximale Fehler der Kraft- resp. der Zeitmessung beträgt 7 resp. 6 %.

Statistische Auswertung

Die statistischen Auswertungen (Masszahlen, Mittelwertsvergleich, Diskriminanzanalysen) wurden unter Anwendung der BMDP-Computerprogramme (10) durch Dr. Eggenberger am Rechenzentrum der Universität Zürich durchgeführt.

Statistische Auswertung

Die statistischen Auswertungen (Masszahlen, Mittelwertsvergleich, Diskriminanzanalysen) wurden unter Anwendung der BMDP-Computerprogramme (10) durch Dr. Eggenberger der Fakultätsstelle Biometrie der Veterinär-medicinischen Fakultät am Rechenzentrum der Universität Zürich durchgeführt.

3.7. Resultate

3.7.1. Ergebnisse im S C H R I T T

3.7.1.1. Die Ungulogramme der gesunden Pferde im Schritt

Von jedem Vorderhuf wurde ein Ungulogramm der Zehe und der Trachten aufgezeichnet (Abb. 9).

Das Ungulogramm der Trachten

Mit der Bodenberührung der Trachten erfolgt ein steiler Anstieg der Kurve, die kurz vor dem Erreichen eines ersten Belastungsmaximums einen flacheren Verlauf annimmt. Der Beginn dieser Abflachung fällt zeitlich mit dem Ende der schnellen Oszillationen des Zehen-Ungulogramms zusammen. Bei verschiedenen gesunden Pferden konnten ähnliche Oszillationen zu Beginn der Fussung auch bei den Trachten-Ungulogrammen festgestellt werden. Nach Erreichen des ersten Belastungsmaximums sinkt die Kurve bis zu einem Minimum flach ab, das zeitlich mit der mittleren Stützphase der Gliedmasse zusammenfällt. Mit Beginn der Abstossphase steigt das Trachtenungulogramm nochmals bis zum zweiten Belastungsmaximum an (maximale Belastung der Trachten in der Abstossphase). Diesem Maximum folgt ein kontinuierlicher Abfall der Kurve bis zur Nulllinie.

Das Ungulogramm der Zehe

Die Kurve beginnt bei jedem Schritt aller untersuchten Pferde mit einer schnellen Oszillation. Im Anschluss an diese schnellen Ausschläge folgt ein relativ flacher Anstieg der Kurve bis zum ersten von drei Belastungsmaxima. Das erste Maximum fällt ungefähr mit demjenigen der Trachten zusammen. Aehnlich wie bei den Trachten erreicht die Kurve anschliessend ein Minimum, das die mittlere Stützphase andeutet. Mit dem Beginn der Abstossphase steigt die Kurve zum zweiten Maximum an (maximale Belastung der Zehe). Anschliessend fällt sie bis zum zweiten Minimum, das durch das Aufsetzen der anderen Vordergliedmasse und die damit erfolgende Lastübernahme verursacht wird, ab. Mit der Entlastung der Trachten steigt die Kurve wieder an, um das dritte Maximum - beim Abheben der Trachten vom Boden - zu erreichen. Danach folgt ein steiler Abfall zur Nulllinie.

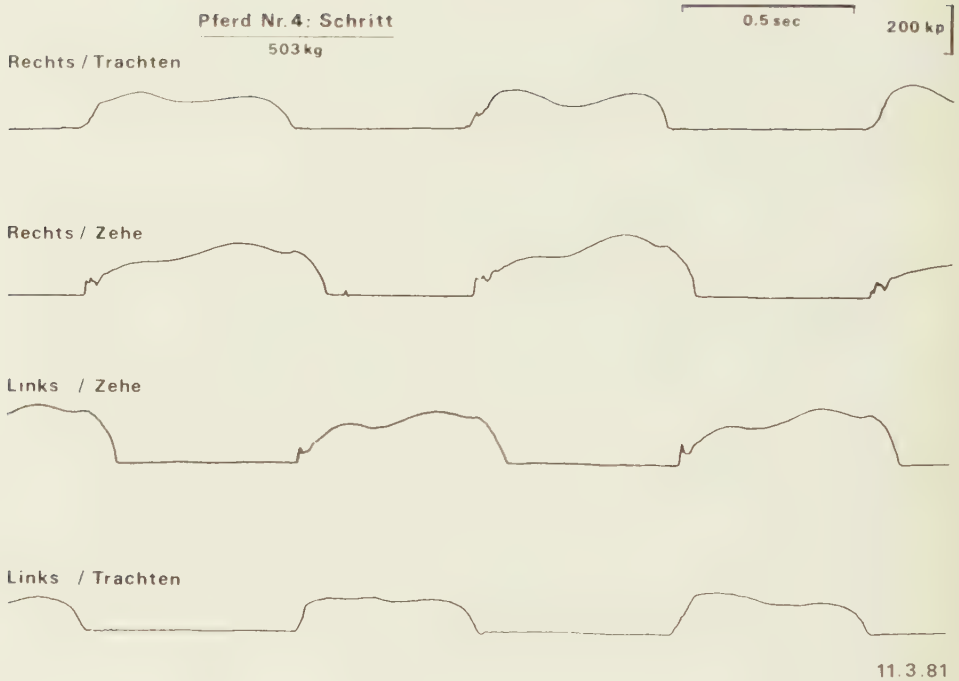


Abb. 9: Ungulogramme eines gesunden Pferdes

3.7.1.2. Die Ungulogramme der an Podotrochlose erkrankten
Pferde im Schritt

Die Zehen- und Trachtenungulogramme der kranken Pferde sind in der Abb. 10 am Beispiel des Pferdes Nr. 15 dargestellt. Dieses Pferd zeigte klinisch eine mittelgradige Trablahmheit vorne links.

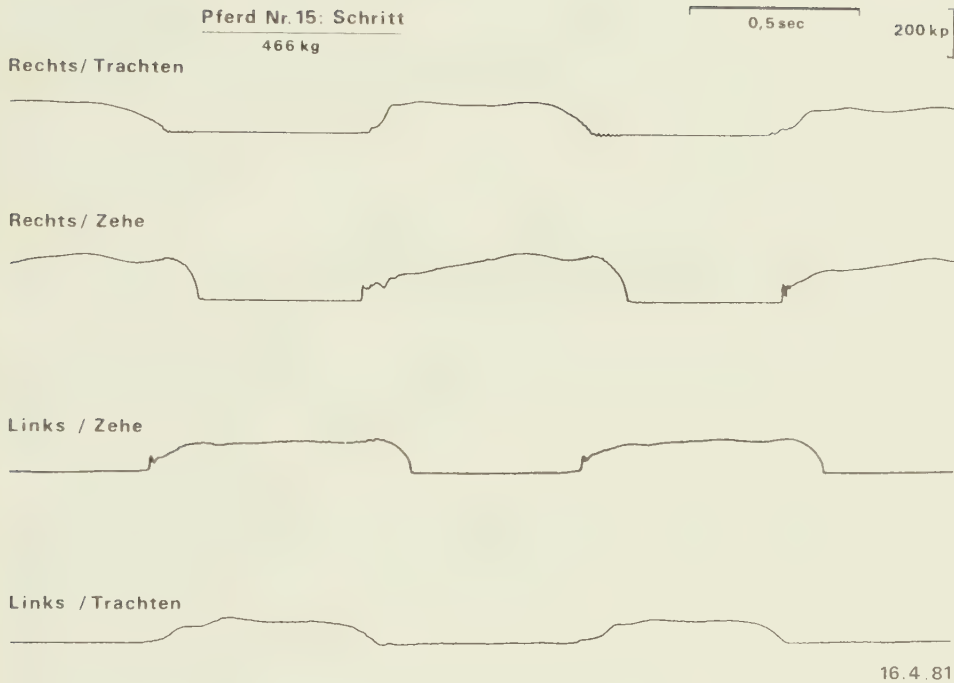


Abb. 10: Ungulogramme eines an Podotrochlose erkrankten Pferdes

Das Trachtenungulogramm

Die Ungulogramme kranker Pferde verlaufen je nach Lahmheitsgrad sehr individuell. Vom Zeitpunkt des Aufsetzens der Trachten am Boden zeigt die Kurve bis zum Erreichen des ersten Maximums einen flachen, z.T. wellenförmigen Verlauf. Das erste Belastungsmaximum, das in der Bremsphase liegt, ist z.T. gar nicht erkennbar, da die Kurve kontinuierlich bis zum Maximum der Abstossphase ansteigt.

Andere an Podotrochlose erkrankte Pferde zeigen ein Maximum in der Bremsphase, aber weder ein Minimum in der Stützphase, noch ein zweites Maximum in der Abstossphase. Die Kurve fällt bei diesen Pferden nach einem ersten Maximum kontinuierlich auf die Nulllinie ab.

Das Zehenungulogramm

Auch die Verlaufsform der Zehenkurve variiert je nach Lahmheitsgrad sehr stark. Geringgradig lahme Pferde zeigen annähernd die gleichen Ungulogramme wie gesunde.

Bei mittelgradigen Lahmheiten sind die Ungulogramme insofern verändert, als die Belastungsmaxima und -minima unterschiedlich stark ausgeprägt oder aber gar nicht mehr erkennbar sind.

Die Belastungsmaxima sind stark abgeschwächt. Bei einzelnen Ungulogrammen kranker Gliedmassen steigt die Kurve nach den Aufschlagszillationen kontinuierlich an bis zum Abstossmaximum.

3.7.1.3. Resultate der Kraft- und Belastungszeit-Messungen im Schritt

Die Mittelwerte und die minimalen ($S_{\min}$) und maximalen Standardabweichungen ($S_{\max}$) zehn aufeinanderfolgender Schritte von jeweils zehn gesunden und zehn an Podotrochlose erkrankten Pferden sind in den Tab. 3 und 4 zusammengestellt.

Die Ueberlagerung zehn aufeinanderfolgender Schritte in der Abb. 11 zeigt, dass die Einzelschritte nur eine geringe Abweichung vom Mittelwert aufweisen.

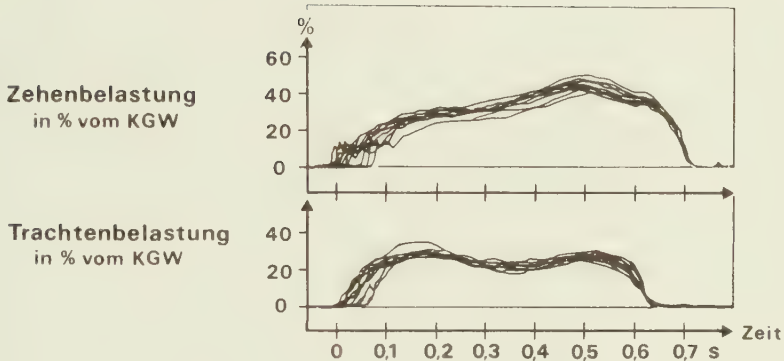


Abb. 11: Ueberlagerung von zehn Einzelschritten ("Schritt")
am Beispiel des Pferdes Nr. 4

Kraftmessungen:

Die Belastung des Hufes in der mittleren Stützphase (Summe von der Zehen- und Trachtenbelastung) variiert im Schritt bei gesunden Pferden in Relation zum Körpergewicht zwischen 49 % und 65 % (Mittelwert 56 %).

Bei kranken Pferden variiert die Belastung des Hufes in der mittleren Stützphase zwischen 37 % und 55 % (Mittelwert 48 %) und ist somit durchschnittlich 8 % niedriger als bei gesunden Pferden.

Die Verteilung des Gewichtes auf Zehe und Trachten ist in den Tabellen 3 und 4 dargestellt.

Die grösste Druckdifferenz zwischen den Vordergliedmassen eines gesunden Pferdes betrug 6,3 %, bei einem mittelgradig lahmen Pferd 17,2 %.

Zeitmessungen:

Die Vorführgeschwindigkeit betrug bei unseren Versuchen im Mittel 1,6 m/s. Als mittlere Schrittdauer wurden bei den gesunden Pferden 1,18 s und bei den an Podotrochlose erkrankten 1,08 s gemessen.

Die Fussungszeit der Zehe ist mit 0,66 s länger als die Schwingzeit mit 0,42 s. Für die Trachten ist die Fussungszeit (0,56 s) praktisch gleich lang wie die Schwingzeit (0,52 s). Bezüglich der Schwing- und der Fussungszeit bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen gesunden und kranken Pferden.

Beim Bewegungsablauf des Fussens wurde die Reihenfolge "Trachten-Zehe", resp. umgekehrt, berücksichtigt.

Wie aus den Tab. 3 und 4 entnommen werden kann, gibt es Messungen von gesunden Pferden, die zuerst mit der Zehe aufsetzten, als auch solche von kranken Pferden, die zuerst die Trachten belasteten. Das Intervall zwischen dem Aufsetzen der Zehen und der Trachten betrug nie mehr als drei Hundertstelsekunden.

PFERD NR.	Gliederklasse	Belastungsdrucke										Zeiten (s)						Reihenfolge Tracht.-Zehe(+) Zehe-Trachte(-)
		Trachten		Zehe		Huf		Huf		Fussungszeit		Schwingzeit		Schritt- zeit				
		kp	%KGW	kp	%KGW	mittl. Stutzphase	Abstoßphase	kp	%KGW	Tracht.	Zehe	Tracht.	Zehe					
1	li	110	21	211	40	321	61	372	71	0,53	0,64	0,55	0,43	1,07	0			
	re	111	21	231	44	342	65	364	69	0,51	0,62	0,55	0,44	1,06	0			
2	li	192	31	156	25	348	56	442	72	0,68	0,80	0,59	0,47	1,27	- 0,01			
	re	157	25	190	31	347	56	431	70	0,68	0,78	0,61	0,49	1,28	- 0,05			
3	li	115	22	187	37	302	59	376	73	0,55	0,63	0,48	0,41	1,04	0,04			
	re	97	19	191	37	288	56	362	71	0,55	0,63	0,52	0,44	1,06	0			
4	li	99	19	157	31	256	51	342	68	0,59	0,67	0,56	0,49	1,15	0,02			
	re	99	20	149	30	247	49	332	66	0,59	0,65	0,56	0,50	1,16	0,02			
5	li	101	19	185	36	286	55	349	67	0,70	0,77	0,57	0,48	1,25	0			
	re	91	17	188	36	278	53	342	66	0,69	0,76	0,58	0,50	1,25	0,01			
6	li	81	12	265	41	345	54	413	65	0,56	0,69	0,60	0,47	1,16	- 0,01			
	re	69	11	282	44	352	55	417	66	0,56	0,68	0,60	0,47	1,16	- 0,02			
7	li	126	22	188	33	315	56	335	59	0,73	0,79	0,59	0,52	1,31	0,01			
	re	114	20	201	35	315	56	340	60	0,73	0,79	0,59	0,49	1,27	- 0,01			
8	li	155	29	159	30	313	60	347	67	0,67	0,77	0,61	0,51	1,28	- 0,01			
	re	137	26	143	27	280	54	340	65	0,67	0,76	0,63	0,52	1,28	0			
9	li	99	16	238	40	337	58	384	66	0,63	0,68	0,55	0,49	1,17	0,02			
	re	109	18	226	39	336	57	381	65	0,63	0,70	0,53	0,47	1,16	0,01			
10	li	154	26	175	30	329	58	391	69	0,59	0,63	0,49	0,45	1,07	0,03			
	re	139	24	192	34	331	58	374	66	0,58	0,63	0,49	0,44	1,07	0,03			
Smin. 5		1		5	1	10	2	6	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000			
Smax. 10		2		27	5	31	6	19	3	0,06	0,07	0,04	0,05	0,08	0,01			

Tab. 3: Messresultate der gesunden Pferde im Schritt

Pferd NR	Glieder-masse	Belastungsdrucke										Zeiten (s)						Reihenfolge Tracht – Zehe (+) Zehe – Trachte (-)
		Trachten				Zehe			Huf			Huf		Fussungszeit		Schritt-zeit		
		Trachten		Zehe		mittl Stützphase		Huf		Huf		Tracht	Zehe					
		kp	% KGW	kp	% KGW	kp	% KGW	kp	% KGW	kp	% KGW							
11	li	174	29	201	33	375	63	393	65		0,46	0,55	0,47	0,38	0,93	- 0,01		
	re	139	23	187	31	326	54	344	57		0,44	0,52	0,49	0,41	0,93	- 0,01		
12	li	139	23	169	28	308	51	399	67		0,55	0,66	0,52	0,42	1,07	0,01		
	re	140	23	143	24	284	47	352	59		0,56	0,65	0,52	0,42	1,07	0		
13	li	151	24	186	30	338	55	428	74		0,55	0,66	0,56	0,45	1,11	0		
	re	125	20	104	17	229	37	457	69		0,58	0,65	0,53	0,46	1,10	0,01		
14	li	139	25	139	25	278	51	364	66		0,64	0,72	0,46	0,38	1,11	- 0,01		
	re	108	20	136	25	244	45	316	58		0,60	0,69	0,50	0,41	1,10	0		
15	li	94	20	126	27	221	47	239	51		0,60	0,71	0,58	0,47	1,17	0		
	re	106	23	162	35	268	58	291	62		0,61	0,71	0,55	0,45	1,16	0,01		
16	li	66	14	182	39	249	53	307	66		0,53	0,63	0,51	0,40	1,04	0		
	re	80	17	178	38	258	56	324	70		0,52	0,63	0,52	0,41	1,04	- 0,01		
17	li	147	26	171	30	318	54	364	64		0,53	0,63	0,50	0,40	1,04	0		
	re	92	16	191	33	283	50	376	64		0,52	0,61	0,51	0,43	1,04	0		
18	li	135	26	178	34	314	60	365	70		0,57	0,64	0,50	0,43	1,07	0		
	re	147	28	169	33	316	61	354	68		0,59	0,64	0,48	0,44	1,07	0,01		
19	li	116	22	196	38	311	60	350	67		0,60	0,69	0,53	0,47	1,14	0,01		
	re	85	16	202	39	287	55	345	66		0,59	0,69	0,55	0,45	1,14	0		
20	li	133	25	195	37	328	61	374	69		0,60	0,71	0,57	0,46	1,17	0,01		
	re	124	23	196	37	320	60	352	66		0,61	0,73	0,56	0,45	1,18	0,01		
Smin. 0		0		5	1	7	2	8	1		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,003		
Smax. 12		2		15	2	25	4	18	3		0,04	0,04	0,03	0,02	0,05	0,014		

Tab. 4: Messresultate der kranken Pferde im Schritt

3.7.2. Ergebnisse im T R A B

3.7.2.1. Die Ungulogramme der gesunden Pferde im Trab

Von jedem Vorderhuf wurde ein Ungulogramm der Zehe und der Trachten aufgezeichnet (Abb. 12).

Das Ungulogramm der Trachten

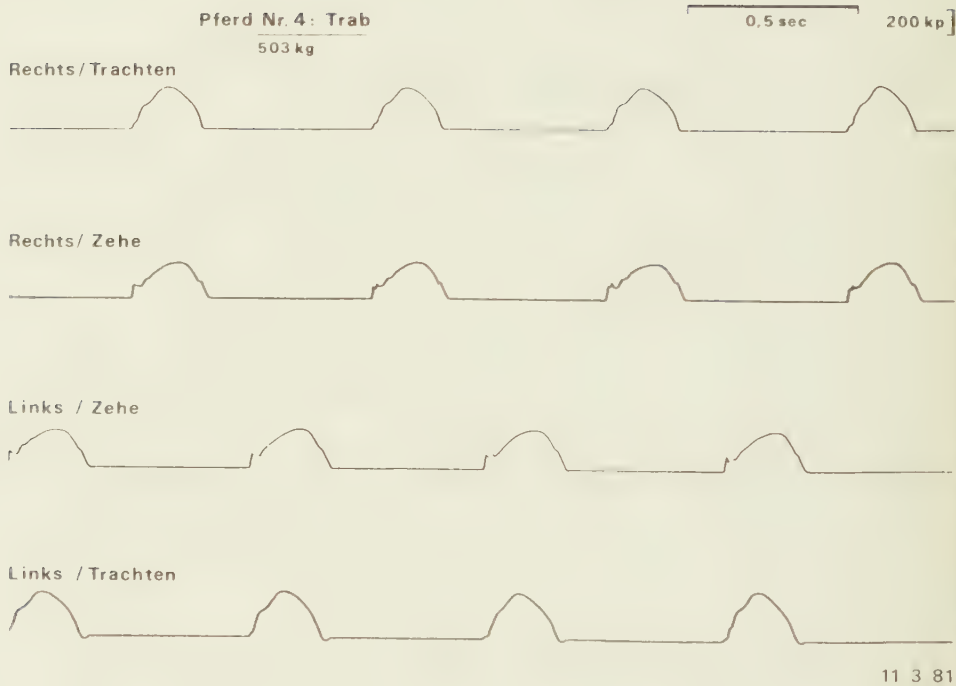
Bedingt durch die diagonale Schrittfolge und die daraus resultierende Zweipunktauflage erscheint die Form der Ungulogramme im Trab gegenüber dem Schritt vereinfacht.

Nach dem Aufsetzen der Trachten folgt ein steiler, kontinuierlicher Anstieg der Kurve, wobei bei einigen Pferden ähnliche Oszillationen, wie sie bereits im Schritt während der Aufsetzphase beobachtet wurden, auftreten.

Nach Erreichen eines Belastungsmaximums, das praktisch mit demjenigen der Zehe zeitlich zusammenfällt, sinkt die Kurve wieder steil ab.

Das Ungulogramm der Zehe

Die Ungulogramme beginnen, ähnlich der Bewegung im Schritt, stets mit einer schnellen Oszillation. Anschliessend steigt die Kurve bis zum Belastungsmaximum an und sinkt danach bis zu einer kurzen Abflachung, die zeitlich mit dem Abheben der Trachten zusammenfällt ab. Danach fällt die Kurve kontinuierlich auf die Nulllinie zurück.



11 3 81

Abb. 12: Ungulogramme eines gesunden Pferdes im Trab

3.7.2.2. Die Ungulogramme der an Podotrochlose erkrankten
Pferde im Trab

Das Ungulogramm der Trachten

Die Ungulogramme gesunder und an Podotrochlose erkrankter Pferde unterscheiden sich grundsätzlich nur in ihrer Amplitude (Kraft).

Bei mittelgradig lahmen Pferden ist der flache Verlauf der Kurve auffallend.

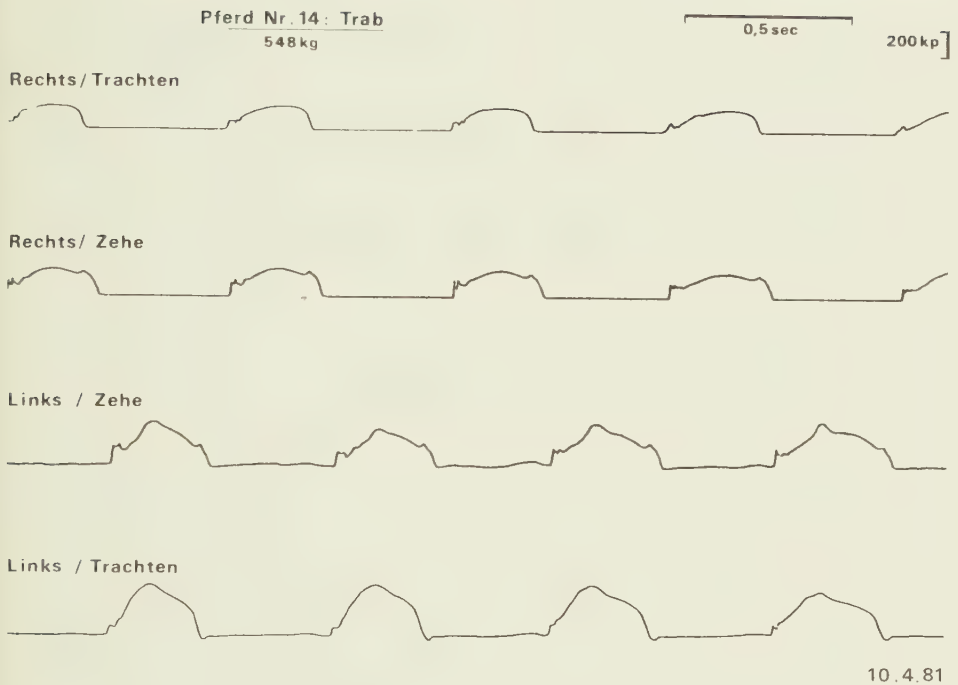


Abb. 13: Pferd Nr. 14 als Beispiel eines an Podotrochlose erkrankten Pferdes mit mittelgradiger Lahmheit rechts.

Das Ungulogramm der Zehe

Die Kurve kranker Pferde zeigt in den meisten Fällen einen unregelmässigeren Verlauf als diejenige gesunder Pferde. Die weniger belastete Gliedmasse zeigt gegenüber der mehr belasteten eine Abflachung. Bei der stärker belasteten Gliedmasse fällt der sprunghafte Anstieg zum Belastungsmaximum auf.

3.7.2.3. Resultate der Kraft- und Belastungszeit-Messungen im Trab

Die Resultate sind in der Tab. 5 für die gesunden und in Tab. 6 für die an Podotrochlose erkrankten Pferde zusammengestellt.

Kraftmessungen:

Die Hufbelastungen betrugen während der mittleren Stützphase bei den gesunden Pferden im Mittel 111 % und bei den kranken 86 % des Körpergewichtes (KGW). Der Unterschied beträgt somit 25 %.

Die Druckverteilung auf Zehe und Trachten ist grossen individuellen Unterschieden unterworfen.

Zeitmessungen:

Die Schrittdauer betrug im Trab bei einer Vorführgeschwindigkeit von durchschnittlich 3,5 m/s bei den gesunden Pferden 0,71 s und bei den kranken 0,66 s.

Bei den gesunden Pferden betrug die mittlere Fussungszeit der Zehe 0,28 s, diejenige der Trachten 0,25 s. Als mittlere Schwingzeit der Zehen wurden 0,45 s, für die der Trachten 0,48 s gemessen.

Bei gleicher Fussungszeit für Zehen und Trachten war die Schwingzeit bei den kranken Pferden verkürzt. Sie betrug im Mittel 0,37 s für die Zehen und 0,42 s für die Trachten.

Fussungsreihenfolge:

Im Trabsetzten die gesunden Pferde ihre Hufe in 75 % der Fälle plan auf den Boden. In 25 % der Fälle wurde die Zehe innerhalb einer Hundertstelsekunde vor oder nach den Trachten aufgesetzt. Die kranken Pferde zeigten in Einzelschritten die Tendenz zur vorzeitigen Zehenfussung, die statistisch aber nicht signifikant ist.

Pferd Nr.	Gliederklasse	Belastungsdrucke						Zeiten (s)				Reihenfolge Tracht – Zehe (+) Zehe – Trachte (–)	
		Trachten		Zehe		Huf mittl. Stützphase kp %KGW	Fussungszeit		Schwingzeit		Schritt- zeit		
		kp	%KGW	kp	%KGW		Tracht.	Zehe	Tracht.	Zehe			
1	li	292	56	365	69	657	125	0,25	0,29	0,52	0,48	0,78	0
	re	260	49	382	72	641	122	0,24	0,29	0,53	0,49	0,78	– 0,01
2	li	398	64	261	42	660	107	0,25	0,30	0,47	0,42	0,72	0
	re	376	61	260	42	635	103	0,26	0,30	0,47	0,43	0,73	0
3	li	308	60	331	65	638	125	0,25	0,29	0,47	0,42	0,72	0
	re	275	53	331	65	605	119	0,25	0,29	0,48	0,43	0,72	0
4	li	352	70	263	52	616	122	0,23	0,25	0,48	0,46	0,71	0
	re	329	65	252	50	581	116	0,22	0,24	0,48	0,47	0,71	0,01
5	li	353	67	286	54	639	123	0,23	0,25	0,46	0,44	0,68	0
	re	340	65	279	53	619	119	0,22	0,24	0,46	0,44	0,69	0
6	li	278	43	416	65	694	109	0,28	0,32	0,50	0,46	0,78	0
	re	280	44	432	67	713	112	0,27	0,32	0,50	0,45	0,77	– 0,01
7	li	262	46	358	63	620	110	0,28	0,29	0,51	0,48	0,77	0,01
	re	270	47	373	66	643	114	0,27	0,29	0,51	0,48	0,78	0
8	li	314	60	254	48	567	109	0,24	0,26	0,47	0,45	0,71	0
	re	322	61	246	47	567	109	0,21	0,24	0,48	0,47	0,70	0
9	li	207	35	377	64	584	100	0,27	0,31	0,49	0,46	0,76	0
	re	254	43	360	61	613	105	0,27	0,30	0,49	0,47	0,76	0
10	li	346	60	257	45	603	106	0,25	0,28	0,45	0,42	0,69	0
	re	332	58	235	41	567	100	0,25	0,28	0,44	0,41	0,69	0
Smin. 10		2		8	2	17	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,003
Smax. 36		7		31	5	41	8	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03	0,009

Tab. 5: Messresultate der gesunden Pferde im Trab

Pferd NR.	Gliederklasse	Belastungsdrucke						Zeiten (s)						Reihenfolge Tracht - Zehe(+) Zehe - Trachte(-)
		Trachten		Zehe		Huf mittl. Stützphase	Fussungszeit		Schwingzeit		Schritt- zeit			
		kp	% KGW	kp	% KGW		Tracht	Zehe	Tracht	Zehe				
11	li	340	57	319	53	659	110	0,21	0,25	0,42	0,38	0,38	- 0,01	
	re	260	43	282	47	542	90	0,19	0,24	0,43	0,38	0,62	- 0,03	
12	li	335	56	305	51	640	107	0,25	0,29	0,43	0,38	0,67	- 0,01	
	re	260	43	221	37	481	80	0,23	0,28	0,45	0,39	0,67	- 0,01	
13	li	315	51	318	51	633	102	0,26	0,30	0,41	0,38	0,68	0	
	re	367	59	173	28	540	87	0,27	0,29	0,41	0,38	0,68	0	
14	li	299	55	219	40	518	95	0,25	0,27	0,37	0,36	0,62	0	
	re	188	34	217	40	405	74	0,23	0,25	0,40	0,37	0,62	0	
15	li	169	36	170	36	339	73	0,26	0,30	0,46	0,42	0,71	0	
	re	311	67	250	54	560	120	0,26	0,29	0,46	0,42	0,71	0	
16	li	109	23	252	54	360	78	0,24	0,30	0,45	0,38	0,68	- 0,01	
	re	200	43	296	64	496	107	0,26	0,29	0,43	0,39	0,68	0	
17	li	233	41	265	47	498	87	0,25	0,29	0,38	0,34	0,63	0	
	re	189	33	291	51	479	84	0,25	0,28	0,38	0,35	0,63	0	
18	li	290	56	306	59	595	115	0,24	0,29	0,43	0,38	0,67	- 0,01	
	re	268	52	258	50	527	102	0,25	0,28	0,42	0,39	0,67	0	
19	li	197	38	275	53	472	91	0,28	0,31	0,39	0,37	0,67	0,01	
	re	170	33	305	59	475	91	0,28	0,30	0,39	0,38	0,67	0,01	
20	li	247	46	279	52	526	99	0,23	0,27	0,46	0,40	0,67	0	
	re	304	57	313	59	617	116	0,24	0,28	0,45	0,40	0,68	- 0,02	
Smin. 5		1		7	1	12	2	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,003	
Smax. 29		3		28	3	56	9	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	

Tab. 6. Messresultate der kranken Pferde im Trab.

3.7.3. Statistische Auswertung der Resultate in Schritt und Trab

In den Tabellen 7, 8, 9, sind die Mittelwertvergleiche anhand des t-Tests zwischen den verschiedenen Gruppen dargestellt. Die Variabilität der mittleren Messwerte der Einzelvordergliedmassen und Differenzen der Vordergliedmassenpaare ist aus den Strichdiagrammen in Abb. 14-17 für Schritt und in Abb. 18-21 für Trab ersichtlich.

Für den Mittelwertvergleich der Differenzen der Vordergliedmassenpaare der Gruppen "gesund" und "krank" wurden die Werte von Pferden mit beidseitiger Lahmheit nicht berücksichtigt, um falsch negative Resultate zu vermeiden.

Variablen	SCHRITT			TRAB		
	gesund n = 20	krank n = 20	Sign.	gesund n = 20	krank n = 20	Sign.
	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s		$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	
Zehe $\frac{\text{Fuss.zeit}}{\text{Schwingzeit}}$	1,48 ± 0,10	1,53 ± 0,12	n.s.	0,63 ± 0,06	0,75 ± 0,06	*
Tracht. $\frac{\text{Fuss.zeit}}{\text{Schwingzeit}}$	1,11 ± 0,10	1,08 ± 0,10	n.s.	0,52 ± 0,04	0,59 ± 0,08	*
Schrittzeit (s)	1,18 ± 0,09	1,08 ± 0,07	*	0,73 ± 0,04	0,66 ± 0,03	*
Fussungsfolge (s)	0,04 ± 0,14	0,02 ± 0,07	n.s.	0,00 ± 0,03	-0,03 ± 0,08	n.s.

* P < 0,05

Tab. 7: Mittelwertvergleich von Zeitwerten zwischen Vordergliedmassen gesunder und kranker Pferde

Variablen		SCHRITT			TRAB				
		$\bar{x}$ gesund n= 33		$\bar{x}$ krank n=7	Sign.	$\bar{x}$ gesund n=28		$\bar{x}$ krank n=12	Sign.
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$		s	$\bar{x}$	s	
Zehe	$\frac{\text{Fusszeit}}{\text{Schwingzeit}}$	1,51 $\pm$ 0,10		1,48 $\pm$ 0,12	n.s.		0,65 $\pm$ 0,08	0,76 $\pm$ 0,07	*
Tracht	$\frac{\text{Fusszeit}}{\text{Schwingzeit}}$	1,10 $\pm$ 0,10		1,05 $\pm$ 0,08	n.s.		0,53 $\pm$ 0,05	0,59 $\pm$ 0,08	n.s.
Schrittzeit (s)		1,14 $\pm$ 0,09		1,08 $\pm$ 0,08	n.s.		0,71 $\pm$ 0,04	0,66 $\pm$ 0,02	*
Fussungsfolge (s)		0,04 $\pm$ 0,11		0,00 $\pm$ 0,06	n.s.		-0,01 $\pm$ 0,05	0,00 $\pm$ 0,09	n.s.
Zehenbelastung		34,56 $\pm$ 4,95		28,03 $\pm$ 7,19	*		55,93 $\pm$ 9,43	46,11 $\pm$ 9,02	*
Trachtenbelast. in KGM		22,18 $\pm$ 4,79		19,88 $\pm$ 2,87	n.s.		55,50 $\pm$ 9,79	40,18 $\pm$ 9,49	*
Hufbelastung in % KGM		56,75 $\pm$ 3,63		47,91 $\pm$ 6,19	*		111,48 $\pm$ 8,25	86,30 $\pm$ 9,00	*
Max. Hufbelast.		67,12 $\pm$ 3,25		60,77 $\pm$ 6,19	*				

* $P < 0,05$

Tab. 8: Mittelwertvergleich zwischen gesunden und kranken Vordergliedmassen

Variablen	SCHRITT			TRAB				
	gesund n=10		krank n=7		gesund n=10		krank n=8	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s		$\bar{x}$	s	
Differenz (li-re) (gesund-krank)								
Fussungsfolge (s)	0,04 + 0,02	0,03 + 0,06	n.s.		0,01 + 0,03	-0,03 + 0,07	n.s.	
Zehenbelastung	-2,17 ± 1,98	2,78 ± 5,78	n.s.		0,17 ± 2,37	10,73 ± 7,20	*	
Trachtenbelast. in KGM	1,95 ± 2,09	4,86 ± 2,95	n.s.		1,43 ± 4,40	14,93 ± 8,23	*	
Hufbelastung in % KGM	0,74 ± 2,70	8,15 ± 4,65	*		2,82 ± 3,89	23,55 ± 11,09	*	
Max. Hufbelast.	1,33 ± 1,30	6,03 ± 3,95	*					

* $P < 0,05$

Tab. 9: Mittelwertvergleich der Differenzen der zusammengehörenden Vordergliedmassen von gesunden und kranken Pferden mit einseitiger Lahmheit.

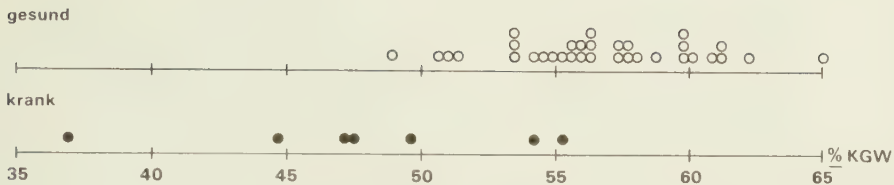


Abb. 14: Vergleich der Hufbelastung gesunder $\circ$ und kranker $\bullet$ Einzelvordergliedmassen im Schritt

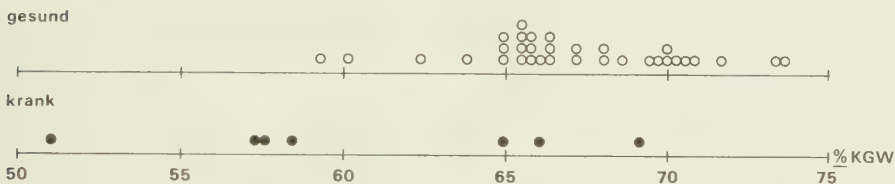


Abb. 15: Vergleich von Hufvertikalkräften in der Abstossphase von gesunden $\circ$ und kranken $\bullet$ Einzelvordergliedmassen im Schritt

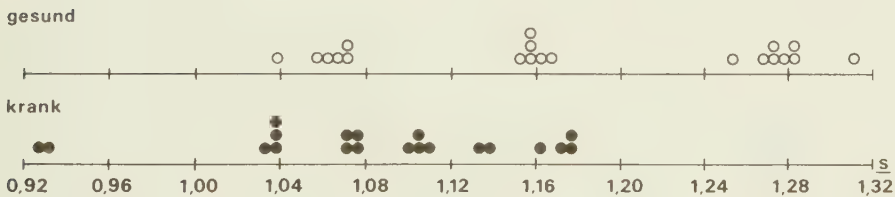


Abb. 16: Vergleich der Schrittzeiten der Vordergliedmassenpaare gesunder $\circ$ und kranker $\bullet$ Pferde im Schritt

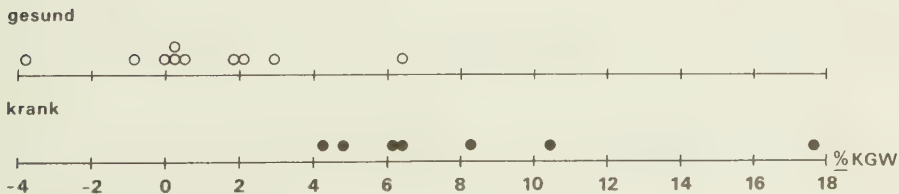
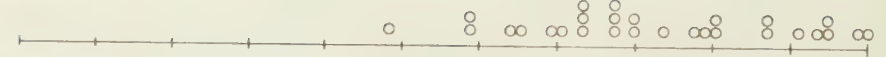


Abb. 17: Vergleich der Hufbelastungsdifferenzen von Vordergliedmassenpaaren gesunder $\circ$ und kranker $\bullet$ Pferde im Schritt

gesund



krank



Abb. 18: Vergleich der Hufbelastung der Einzelvordergliedmassen gesunder○ und kranker● Pferde im Trab

gesund



krank



Abb. 19: Vergleich der Belastungsdruckdifferenzen der Vordergliedmassenpaare gesunder○ und kranker● Pferde im Trab

gesund



krank



Abb. 20: Schrittzeitvergleich der Gliedmassenpaare gesunder○ und kranker● Pferde im Trab

gesund



krank

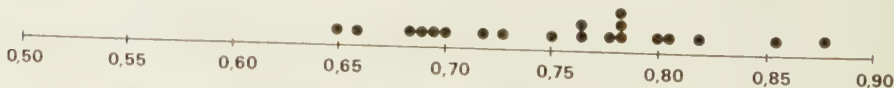


Abb. 21: Vergleich der Quotienten Zehenfassungszeit/ Zehenswingzeit der Einzelvordergliedmassen gesunder○ und kranker● Pferde im Trab.

Mit der Diskriminanzanalyse sollte diejenige Variable oder Variablenkombination bestimmt werden, die eine Trennung in die zwei Versuchsgruppen (gesunde und an Podotrochlose erkrankte Pferde) auf Grund der Messwerte aus Tab. 7, 8 und 9 ermöglicht.

In Tab. 10 sind für die verschiedenen Gruppierungen die wesentlichen Trennvariablen und die Zuordnungsmatrix dargestellt.

	Trennung nach	Trennvariablen	Gruppe	Total	Zuordnung			
					absolut		relativ %	
					gesund	krank	gesund	krank
SCHRITT	Einzelgliedmassen	Hufbelastung max. Hufbelastung Schrittzeit	gesund krank	33 7	33 1	0 6	100 14,3	0 85,7
	Tiere	Differenz der Gliedmassen von Hufbelastung	gesund krank	10 7	9 1	1 6	90 14,3	10 85,7
	Gliedmassenpaaren	$\frac{\text{Zehenfuss.zeit}}{\text{Zehenschwingzeit}}$ Schrittzeit	gesund krank	20 20	15 3	5 17	75 15	25 85
TRAB	Einzelgliedmassen	Hufbelastung	gesund krank	28 12	27 1	1 11	96,4 8,3	3,6 91,7
	Tiere	Differenz von Hufbelastung	gesund krank	10 8	10 0	0 8	100 0	0 100
	Gliedmassenpaaren	$\frac{\text{Zehenfuss.zeit}}{\text{Zehenschwingzeit}}$ Schrittzeit	gesund krank	20 20	19 2	1 18	95 10	5 90

Tab. 10: Trennvariablen und Zuordnungsmatrix für Schritt und Trab

4. DISKUSSION

Die von uns getrennt aufgezeichneten Ungulogramme von der Zehe und den Trachten lassen sich durch Summation (Superposition) zu einer Kurve zusammenfassen (Abb. 22). Die Form dieser Summationskurve kann dann mit den Ungulogrammen früherer Untersucher verglichen werden (4, 5, 22, 23, 30, 31). Der Kurvenverlauf gleicht den Aufzeichnungen, die mit am Boden montierten Kraftmessplatten registriert wurden. Unsere Messwerte, für die Kraft- und Belastungszeit, können jedoch nicht mit den Ergebnissen früherer Messungen verglichen werden, da die Versuchsbedingungen (Bodenbeschaffenheit, Vorführgeschwindigkeit) unterschiedlich waren.

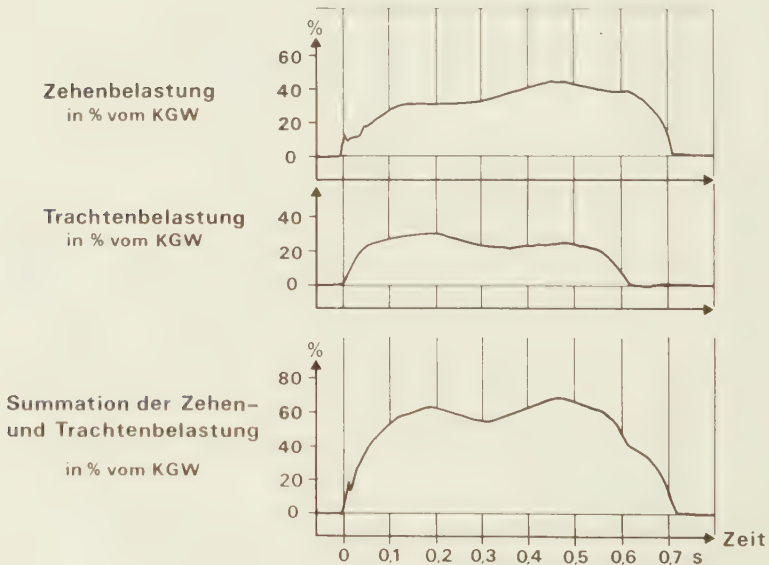


Abb. 22: Die Superposition der Zehen- und Trachtenbelastung ergibt die Gesamtbelastung des Hufes

Die Messergebnisse im "Schritt":

Die starke Kraftzunahme vor der Oszillation zu Beginn des ersten Anstieges der Kurve wurde schon in den Ungulogrammen früherer Untersucher (4, 31, 35) beobachtet, bisher aber noch nicht interpretiert. Unseren Beobachtungen zu Folge wird der steile Anstieg der Vertikalkraft durch den Aufprall der Zehe auf den Boden verursacht. Diese Annahme wird durch das Fehlen eines ähnlich steilen Anstieges in den meisten Trachtenkurven (Abfederung des Schlages durch den Hufmechanismus) bestätigt. Der kurzzeitige Abfall der Vertikalkraft nach der Oszillation hängt wahrscheinlich mit der Federkraft des sich senkenden Fesselkopfes zusammen (34).

Der im Kurvenverlauf während der mittleren Stützphase bei gesunden Pferden auftretende "Sattel" wurde von Schryver (35) mit dem Abstoßen des anderen Vorderbeines erklärt. Unsere Kurven können diese Aussagen nicht bestätigen. Zum Zeitpunkt der "Sattelpbildung" befand sich bei unseren Messungen das andere Vorderbein stets in der Schwing- und nicht in der Abstoßphase. Eine wahrscheinlichere Erklärung für die "Sattelpbildung" lässt sich darin finden, dass in der mittleren Stützphase (Horizontalkräfte=Null) praktisch keine dynamischen Vertikalkräfte auf den Huf einwirken und dass gleichzeitig die diagonale Hintergliedmasse aufzusst und Gewicht übernimmt (2).

Die Schrittzeiten (Abb. 16) der gesunden Gliedmasse kranker Pferde zeigen keinen Unterschied zur kranken Gliedmasse. Die Schrittdauer ist aber bei gesunden und kranken Pferden verschieden. Die Schrittverkürzung und eine Verringerung der Vertikalkraft in der Abstoßphase bilden die ersten Anzeichen einer Ganganomalie.

Im weiteren fällt auf, dass die Schwingzeit der Zehe bei kranken Pferden gegenüber derjenigen von gesunden Pferden verkürzt ist. Die Zehenbelastungszeit bleibt jedoch bei gesunden und kranken Pferden gleich.

Wie aus den Abb. 14-17 hervorgeht, kann die Diagnose "gesund" oder "krank" mit Sicherheit nicht auf Grund einer einzigen Variablen gestellt werden.

Aus der Diskriminanzanalyse geht hervor, dass die Kombination der Variablen "Hufbelastung", "max. Hufbelastung in der Abstossphase" und "Schrittzeit" in der Bewegung "Schritt" schon bei geringgradigen Ganganomalien in 92,5 % der Fälle eine richtige Beurteilung ergibt.

Besprechung der Ergebnisse im "Trab":

Das für die Schrittzeit und die Zehenswingzeit in der Bewegung "Schritt" beobachtete Verhalten der Bewegung gilt noch ausgeprägter für den "Trab".

Die grösseren Kräfte und die damit grösseren Belastungsdifferenzen zwischen der gesunden und der kranken Gliedmasse erlauben im "Trab" eine Trennung auf Grund einer einzigen Variablen (Hufbelastung oder Differenz der Hufbelastung der beiden Vordergliedmassen) in die Gruppen "gesund" oder "krank". Von weiterem Interesse ist die Gewichtsverteilung beim lahmen Pferd. Nach unseren Messungen nimmt die kranke Gliedmasse im Trab gegenüber der gesunden bis zu 47 % des Körpergewichtes weniger Gewicht auf. Demgegenüber nimmt die Belastung der anderen Vordergliedmasse unwesentlich zu, sodass die diagonale Hintergliedmasse vermehrt Gewicht tragen muss. Dies deckt sich mit den Beobachtungen von Aysan (2).

Die z.T. grossen Unterschiede zwischen unseren Messwerten und denjenigen früherer Untersucher (13, 31, 35) können durch die verschiedenen Versuchsbedingungen erklärt werden. Dabei scheint die Bodenbeschaffenheit von grosser Bedeutung zu sein (9, 32). Weiche, elastische Unterlagen schwächen die dynamischen Kräfte ab. Der Grenzwert zwischen einer normalen Belastung und dem Schonen einer Gliedmasse liegt im Trab bei 95 % des Körpergewichtes, d.h. die kranke Gliedmasse nimmt stets weniger als 95 % des Körpergewichtes auf.

Die Belastungsdifferenz zwischen den Gliedmassen des gleichen Pferdes beträgt bei gesunden Pferden weniger als 8 % des KGW und bei kranken mehr als 8 % des KGW. Pferde mit beidseitig ähnlich starken Beschwerden können mit dieser Variablen nicht erfasst werden.

Die Bedeutung der Kraft- und Belastungszeitmessung für die Lahmheitsdiagnostik:

Für die Beurteilung einer Ganganomalie ist die Fussungsphase einer Gliedmasse von grösserer Bedeutung als die Schwingphase (4).

Somit kommt der Kraft- und Belastungszeitmessung gegenüber den photographischen Methoden für die Lahmheitsdiagnostik mehr Bedeutung zu.

Die Kraft- Belastungszeitmessung kann als Ergänzung zur klinischen Untersuchung in folgenden Fällen wertvoll sein:

- Mit dieser Methode ist es möglich, die auf die Hufe einwirkenden Kräfte zu erfassen und nicht nur vage Vorstellungen von diesen Kräften zu haben.
- Es kann eine sichere Unterscheidung zwischen den Stützbein- und Hangbeinlahmheiten vorgenommen werden.
- Mit Hilfe dieser Messmethode kann eine objektive Kontrolle eines Therapieverlaufes vorgenommen werden.
- In forensischen Fragen kann der Untersuchungsbefund "schriftlich" festgehalten werden.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Bei zehn gesunden und zehn an Podotrochlose erkrankten Pferden wurden mittels von uns konstruierten, an den Vorderhufen montierten Kraftmessplatten Kraft- und Belastungszeitmessungen in den Bewegungen "Schritt" und "Trab" durchgeführt.

Die Aufzeichnungen lieferten uns genaue Informationen über den Bewegungsablauf, die Einwirkung der Vertikalkräfte während der Hufbelastung (Fussungsphase), sowie die Dauer der Fussungs- und Schwingphase.

Aus den aufgezeichneten Kurven wurden die nachfolgenden Variablen ausgewertet: Zehenbelastung, Trachtenbelastung, max. Hufbelastung in der Abstossphase, Dauer der Fussungsphase, Dauer der Schwingphase sowie die Fussungsreihenfolge. Im Schritt ergaben die Variablen: Schrittzeit, Zehenbelastung, max. Hufbelastung in der Abstossphase und Hufbelastung in der mittleren Stützphase signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen "gesund" und "krank". Im Trab ergaben die Variablen: Schrittzeit, Zehenbelastung, Trachtenbelastung, Hufbelastung, sowie die Differenzen der Belastung zwischen gesunder und kranker Gliedmasse eines Pferdes signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen.

Auf Grund der Diskriminanzanalyse ergibt im Schritt die Kombination der Variablen Schrittzeit, Hufbelastung in der mittleren Stützphase und maximale Hufbelastung in der Abstossphase eine 92,5 %-ige Uebereinstimmung mit dem klinischen Untersuchungsbefund.

Im Trab wurde mit der Variablen "Hufbelastung" eine 94 %-ige und mit der Variablen "Differenz der Hufbelastung" eine 100 %-ige Uebereinstimmung mit den klinischen Befunden erzielt.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- 1 Adams, O.R. (1976)
Lameness in Horses.
Lea + Febiger, Philadelphia
- 2 Aysan, I. (1964)
Beitrag zur Analyse der Bewegungsanomalien beim Pferd mit
Hilfe der kinematographischen Methode.
Diss. Giessen
- 3 Bartel, D.L., Schryver, H.F., Lowe, J.E., Parker, R.A. (1978)
Locomotion in the Horse: A Procedure for Computing the Internal
Forces in the Digit.
Am.J.Vet.Res. 39, (11) 1721-1727
- 4 Bayer, A. (1973)
Bewegungsanalysen an Trabrennpferden mit Hilfe der Ungulo-
graphie.
Zbl.Vet.Med.A 20, 209-221
- 5 Björk, G. (1958)
Studies on the Draught Force of Horses.
Acta Agriculturae Scandinavica Suppl 4, Stockholm
- 6 Bolz, W., Dietz, O., Schleiter, H., Teuscher R. (1968)
Lehrbuch der spez. Veterinärchirurgie II.
Gustav Fischer Verlag Stuttgart
- 7 Bötschi, O. (1937)
Untersuchungen am Vorderfuss des Pferdes.
Diss. Zürich
- 8 Brauell, "-". (1845)
Beitrag zur Pathologie und Therapie der chron. Fussrollenent-
zündung (Podotrochlititis chronica).
Magazin für die gesamte Tierheilkunde 11. Jg. Verlag A. Hirsch-
wald Berlin

- 9 Cheney, J.A., Shen, C.K., Wheat, J.D. (1973)
Relationship of Racetrack Surface to Lameness in the
Thoroughbred Racehorse.
Am.J.Vet.Res. 34, (10) 1285-1289
- 10 Dixon, W.J., Brown, M.B. (1977)
BMDP-77, Biomedical Computer Programs P-Series.
University of California Press Berkeley, Los Angeles, London
- 11 Dueland, R., Bartel, D.L., Antonson, E. (1977)
Force-Plate Technique for Canine Gait Analysis of Total Hip
and Excision Arthroplasty.
J.of Am.Animal Hospital Assoc. 13, (5) 547-552
- 12 Emery, L., Miller, J., Van Hoosen, N. (1977)
Horseshoeing Theory and Hoof Care.
Lea + Febiger Philadelphia
- 13 Frederick, F.H. (Jr), Henderson, J.M. (1970)
Impact Force Measurement Using Preloaded Transducers.
Am.J.Vet.Res. 31, 2279-2283
- 14 Fredricson, I., Drevemo, S. (1972)
Equine Joint Kinematics and Co-ordination.
Acta Veterinaria Scandinavica Suppl 37, Stockholm
- 15 Fredricson, I., Drevemo, S. (1971)
A new method of Investigating Equine Locomotion.
Equine Vet.J. 3, (4), 137-140
- 16 Genieser, D. (1962)
Analyse der Bewegungswechsel beim Shetlandpony.
Diss. Giessen
- 17 Grzimek, B. (1949)
Die Händigkeit bei Pferden.
Z.Tierpsychol. 6, 414-432
- 18 Henderson, J.M. (1980)
Persönliche Mitteilung.

- 19 Hildebrand, M. (1965)
Symmetrical Gaits of Horses.
Science 150, 701-708
- 20 Hickman, J. (1977)
Farriery.
Allen London + New York
- 21 Hickman, J. (1964)
Veterinary Orthopedics.
Oliver + Boyd Edinburgh + London
- 22 Knezevic, P. (1962)
Klinik des Trachtenzwanghufes und Grundlagen der Ungulographie mit Dehnungsmessstreifen beim Pferd.
Wiener Tierärztliche Wochenschrift 49, 777-824, 869-904, 944-959
- 23 Koch, A. (1973)
Zeit- und Belastungsmessungen an den Vorderhufen des Pferdes mittels der Mehrkomponenten- Kraftmessplatte "Kistler".
Diss. Zürich
- 24 Lanyon, L.E. (1971)
Use of an accelerometer to determine support and swing phases of a limb during locomotion.
Am.J.Vet.Res. 32, (7), 1099
- 25 Ludwig, W. (1970)
Das Rechts-Links-Problem im Tierreich und beim Menschen.
Springer Verlag 1932, reprint 1970
- 26 Marey, M. (1873)
De la locomotion terrestre chez les bipèdes et les quadrupèdes.
Journal de l'anatomie et de la physiologie normale T IV, 62-80
- 27 Moyer, W., Anderson, J.P. (1975)
Lameness Caused by Improper Shoeing.
JAVMA 166, (1), 157-159

- 28 Muybridge, E. (1907)
Animals in motion.
London
- 29 Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E. (1975)
Lehrbuch der Anatomie der Haustiere I.
Paul Parey Berlin, Hamburg
- 30 Pratt, G.W. (1974)
Lameness and Condition determined by Force-Plate Measurement.
Hoof Beats 42, (10), 107
- 31 Pratt, G.W., O'Connor, J.T. (1976)
Force-Plate Studies of Equine Biomechanics.
Am.J.Vet.Res. 37, 1251-1255
- 32 Pratt, G.W., O'Connor, J.T. (1978)
A Relationship Between Gait and Breakdown in the Horse.
Am.J.Vet.Res. 39, 249-253
- 33 Quddus, M.A., Kingsbury, H.B., Rooney, J.R. (1978)
A Force and Motion Study of the Foreleg of a Standardbred Trotter.
J. Equine Med.Surg. 2, 233-242
- 34 Rooney, J.R. (1969)
Biomechanics of lameness in Horses.
Williams and Wilkins + Co. Baltimore
- 35 Schryver, H.F., Bartel, D.L., Langrana, L., Lowe, J.E. (1978)
Locomotion in the Horse: Kinematics and External and Internal Forces in the Normal Equine Digit in the Walk and Trot.
Am.J.Vet.Res. 39, (11), 1728-1733
- 36 Taylor, B.M., Tipton, C.M., Adrian, M.J., Karpovich, P.F. (1966)
Action of certain Joints in the Legs of the Horse recorded elektrogoniometrically.
Am.J.Vet.Res. 27, 85-89
- 37 Wintzer, H.J. (1964)
Zur Podotrochlitits chronica aseptica des Pferdes.
Diss. Utrecht

Herzlichen Dank

- Herrn Prof. Dr. A. Müller für die Ueberlassung des Themas und die Korrektur der Arbeit.
- Herrn PD Dr. H. Geyer für die Uebernahme des Korreferates und die zügige Korrektur, sowie für die kameradschaftlichen Ratschläge.
- Herrn Dr. Ch. Fricker für die Leitung der Arbeit und die unzähligen Anregungen die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.
- Herrn Th. Wiestner für die Entwicklung der Messplatten und den arbeitsintensiven Aufbau der Versuchsanordnung, sowie für die unzähligen Lösungen von technischen Problemen.
- Herrn Dr. E. Eggenberger für die komplizierten Programmierarbeiten und die Korrektur der statistischen Auswertung.
- Herrn R. Bertolla für die beschlagstechnischen Ratschläge und die Hilfe bei den Versuchsvorbereitungen.
- Allen tierärztlichen Kollegen, der Veterinär-Medizinischen Fakultät, die mir mit Rat und Tat zur Seite standen.
- Den Tierwärtern der Grosstierklinik für das Vorbereiten und Vorführen der Versuchspferde.
- Frl. E. Ammann für die mühsame Zusammenstellung der graphischen Arbeiten.
- Frl. M. Hess für die sorgfältige Reinschrift und die Korrektur des Manuskriptes.

LEBENS LAUF

Name: Hugelshofer Jürg
Heimatort: Frauenfeld TG
Geboren: 19. Mai 1951
Eltern: Hugelshofer Max und Anita, geb. Mitteregger
Heirat: 1974 mit Katrin, geb. Hofmann
Kinder: Sarah 1978
Matthias 1981

Schulen: 1958 - 1963 Primarschule in Frauenfeld
1963 - 1965 Sekundarschule in Frauenfeld
1965 - 1971 Gymnasium Typ C EMS Schiers
1971 - 1976 Studium der Veterinärmedizin an der
Universität Zürich
1976 Staatsexamen
1977 - 1981 Assistent an der Veterinär-Chirurgischen
Klinik der Universität Zürich
seit Nov.81 Assistent der Röntgenabteilung der
Veterinär-Medizinischen Fakultät der
Universität Zürich

